

行政院所屬各機關出國人員報告書

(出國類別：實習)

興達 1、2 號機空污改善工程計畫  
結構規劃設計訓練實習報告

(裝訂線)

服務機關：台灣電力公司核能火力發電工程處

姓名職稱：蔡繼義 / 土木工程師

派赴國家：韓國

出國期間：95 年 12 月 19 日至 96 年 1 月 2 日





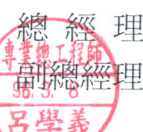

報告日期：96 年 3 月 1 日

# 出國報告審核表

出國報告名稱：興達 1、2 號機空污改善工程計畫之結構規劃設計訓練實習報告		
出國人姓名	職稱	服務單位
蔡繼義	土木工程師	台灣電力公司 核能火力發電工程處
出國期間：95 年 12 月 19 日 至 96 年 1 月 2 日		報告繳交日期：96 年 3 月 1 日
出國計畫主辦機關審核意見	<input checked="" type="checkbox"/> 1.依限繳交出國報告 <input checked="" type="checkbox"/> 2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得」、「建議事項」） <input checked="" type="checkbox"/> 3.內容充實完備. <input checked="" type="checkbox"/> 4.建議具參考價值 <input type="checkbox"/> 5.送本機關參考或研辦 <input type="checkbox"/> 6.送上級機關參考 <input type="checkbox"/> 7.退回補正，原因： <input type="checkbox"/> 不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/> 以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容以 <input type="checkbox"/> 內容空洞簡略 <input type="checkbox"/> 電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/> 未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔 <input checked="" type="checkbox"/> 8.本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表： <input checked="" type="checkbox"/> 辦理本機關出國報告座談會（說明會），與同人進行知識分享。 <input type="checkbox"/> 於本機關業務會報提出報告 <input type="checkbox"/> 9.其他處理意見及方式：	
層轉機關審核意見	<input type="checkbox"/> 1. 同意主辦機關審核意見 <input type="checkbox"/> 全部 <input type="checkbox"/> 部分_____（填寫審核意見編號） <input type="checkbox"/> 2.退回補正，原因：_____ <input type="checkbox"/> 3.其他處理意見：	

說明：

- 一、出國計畫主辦機關即層轉機關時，不需填寫「層轉機關審核意見」。
- 二、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 三、審核作業應於報告提出後二個月內完成。

報告人：  單位：  主管：  主管處：  總經理：  副總經理： 

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：興達 1、2 號機空污改善工程計畫之結構規劃設計訓練實習報告

頁數 23 含附件： 是 否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

蔡繼義/台灣電力公司/核能火力發電工程處/土木工程師/(02)23229502

出國類別： 1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：95/12/19~96/1/2

出國地區：韓國

報告日期：96/03/01

分類號/目

關鍵詞：興達電廠 1、2 號機、結構規劃設計、結構補強、減震、隔震

內容摘要：(二百至三百字)

興達 1、2 號機空污改善計畫之系統設備工程安裝均是在現有舊電廠狹小空間的限制下進行，由於計畫所須更新、修改或增設之設備繁多，且舊結構原設計規則與現今結構設計規範要求不同，需在規劃設計技術上做個案研究，除考量新結構與設備運轉震動對舊結構的影響並需檢討相關舊結構是否符合現行建築技術法規，以求能達到工程之安全性及經濟性的要求。

為瞭解結構系統之設計、規劃、施工程序及增加對最新技術之認識，本次前往本計畫之統包廠家 - 韓國斗山重工公司實習主要內容為瞭解鍋爐本體、粉煤機、APH 以及 SCR 等設備之規劃、新增 SCR 與 APH 鋼構的規劃設計以及既有鍋爐廠房補強評估，本實習報告內除針對此次實習內容作描述外亦就各種補強方法作進一步之探討，期能吸收相關實際經驗以加強日後設計規劃之能力，並能掌控工程進度及確保工程品質。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

## 目錄

一、國外公務之內容與過程： .....	1
(一) 公務目的： .....	1
(二) 內容與過程： .....	1
二、國外公務之心得與感想： .....	2
(一) 前言： .....	2
(二) 興達1、2號機鍋爐效率提昇及增設SCR之計畫內容與規劃 .....	3
(三) 新建SCR及APH鋼構規劃 .....	9
(四) 既有鍋爐廠房補強評估 .....	12
三、出國期間所遭遇的困難及建議事項 .....	21

## 一、國外公務之內容與過程：

### (一) 公務目的：

興達 1、2 號機分別自民國 71 及 72 年開始運轉至今已逾二十年，相關設備經多年運轉，鍋爐效率已偏離原設計條件，且硫氧化物、氮氧化物及粒狀污染物等污染物排放雖可符合政府之現行環保標準，但依政府為達成國家環境保護計畫所訂定之空氣品質改善目標，未來電廠運轉將面對更嚴格之污染物排放標準，為合理有效控制既有機組之空氣污染物排放量以符合未來更嚴苛之環保法規使電廠能順利營運，公司乃辦理興達 1、2 號機空污改善計畫以改善既有機組之效率及降低污染物之排放，並能徹底發揮各設備之功能及效率，進而提昇整體供電品質，以強化公司營運體質暨保持與民營電廠競爭時之優勢。

本計畫包括鍋爐性能改善、增設選擇性觸媒還原設備、既有靜電集塵器加大、煙器除硫設備性能提升及更新既有空氣預熱器等，均是在現有舊電廠狹小空間的限制下進行工程安裝相關系統設備，以符合環保法規空氣品質排放之要求。由於計畫所須更新、修改或增設之設備繁多，新舊結構交錯並存，且舊結構原設計規則與現今結構設計規範要求不同，由於廠房結構屬特殊結構，因此統包廠家需在規劃設計技術上做個案研究，除考量新結構的安全性、新結構與設備運轉震動對舊結構的影響並需檢討相關舊結構是否符合現行建築技術法規，以求能達到工程之安全性及經濟性的要求。為瞭解結構系統之設計、規劃、施工程序及增加對最新技術之認識，希望能利用此次派赴本計畫之統包廠家 - 韓國斗山重工公司 (Doosan Heavy Industries & Construction Co., Ltd.) 實習的機會，吸收實際經驗以加強日後設計規劃、施工之能力，以掌控工程進度及確保工程品質。

### (二) 內容與過程：

#### 1. 實習機構簡介：

本次參訪實習的機構 - 韓國斗山重工公司成立於 1962 年，其事業範圍從鑄

鍛工業、海水淡化處理設備到核能、水力以及火力發電設備的製造並積極參與電廠興建之工程。自 1970 年代中期以來幾乎參與了韓國國內所有的重要發電計畫，自目前為止計提供韓國國內 44 座燃煤電廠設備以及 19 座的核能電廠設備，除此之外，Doosan 亦積極拓展海外國際市場，在過去 40 年間不論是以發電設備供應商或是 EPC 統包商的角色總計供應超過 250 個電廠設備，累積發電容量達 98,972MW，目前參與執行中之發電機組設備計有 61 座，容量達 35,990MW，其業務範圍擴及美國、印度、沙烏地阿拉伯、卡達以及中國大陸，也曾參與了台灣和平電廠、新桃電廠等發電計畫。Doosan 並在 2006 年取得英國鍋爐設備大廠 Mitsui Babcock 公司全部的股權，亦同時獲得 Mitsui Babcock 在鍋爐設計、製造及安裝上的技術資產。

## 2. 實習日期與前往機構：

起訖日	機構名稱	工作活動及研習內容
95 年 12 月 19 日		赴韓國
95 年 12 月 20 日 至 95 年 12 月 22 日	斗山重工昌原總公司	結構規劃、設計、施工及監測維護訓練
95 年 12 月 23 日 至 96 年 1 月 1 日	斗山重工首爾分公司	結構規劃、設計、施工及監測維護訓練
96 年 1 月 2 日		返國

## 二、國外公務之心得與感想：

### (一) 前言：

本次研習之主要任務內容為「興達 1、2 號機空污改善工程計畫之結構規劃

設計、施工及監測維護訓練」，興達 1、2 號機空污改善計畫的目標可以分為兩大部分：(1)基於環保考量及法規要求必須增設選擇性觸媒還原設備(Selective catalytic reduction，以下簡稱 SCR)、既有靜電集塵器(Electrostatic precipitator，以下簡稱 ESP)加大、煙器除硫設備(Flue gas desulfurization，以下簡稱 FGD)性能提升。(2)為改善污染源及提昇電廠營運效率辦理鍋爐運轉效率改善。

為使計畫執行順利，本計畫分為兩個工程標案執行，分別為(1)鍋爐效率提昇及增設 SCR 標，(2)既有 FGD 及 ESP 設備性能提昇標。本次前往實習的機構 - 韓國斗山重工為鍋爐效率提昇及增設 SCR 標之 EPC 執行廠家，負責該標設備系統之設計、製造、運輸、安裝、試車及試運轉及效率試驗、各項證照申請與取得等之統包工作，故此次實習任務內容主要以與鍋爐相關設備及 SCR 有關之結構為對象。

由於電廠中土建結構主要功能在於提供設備及人員操作維修的空間(如鍋爐房及汽機房等)或是作為設備支撐之構架及基礎(如 SCR、空氣預熱器及煙道等支撐鋼構、粉煤機基礎等)，故於規劃設計時必須考量設備之特性，諸如設備之佈置、載重(靜止時及運轉中都必須同時考慮)、維修及操作的需求等，如此才能確保所設計之結構能符合安全性、經濟性以及日後完工後的使用性。因此於本次的實習中特別協調由斗山重工安排部份的時間介紹興達 1、2 號機空污改善計畫中鍋爐效率提昇及增設 SCR 工程標有關設備方面之工程相關內容，以期能對本計畫的工程內容有更深入且全盤的了解俾助於爾後能精確掌握土建結構規劃設計與施工階段所需配合設備需求的設計條件，完工後提供設備運轉適切及安全的空間及構架。

## (二) 興達 1、2 號機鍋爐效率提昇及增設 SCR 之計畫內容與規劃

本次興達 1、2 號機改善工程計畫所需增設或修改設備包括：鍋爐島區(Boiler Island)相關設備如粉煤機(Pulverizer)、鍋爐、引風機、空氣預熱器(Air preheater，以下簡稱 APH)；煙氣處理設備如 SCR、ESP、FGD 等。其中 Doosan 所負責執

行的鍋爐效率提昇及增設 SCR 標所需改善的設備有鍋爐本體、粉煤機、APH 以及 SCR 等，圖 1 為 Doosan 針對本鍋爐改善及增設 SCR 之初步規劃圖。

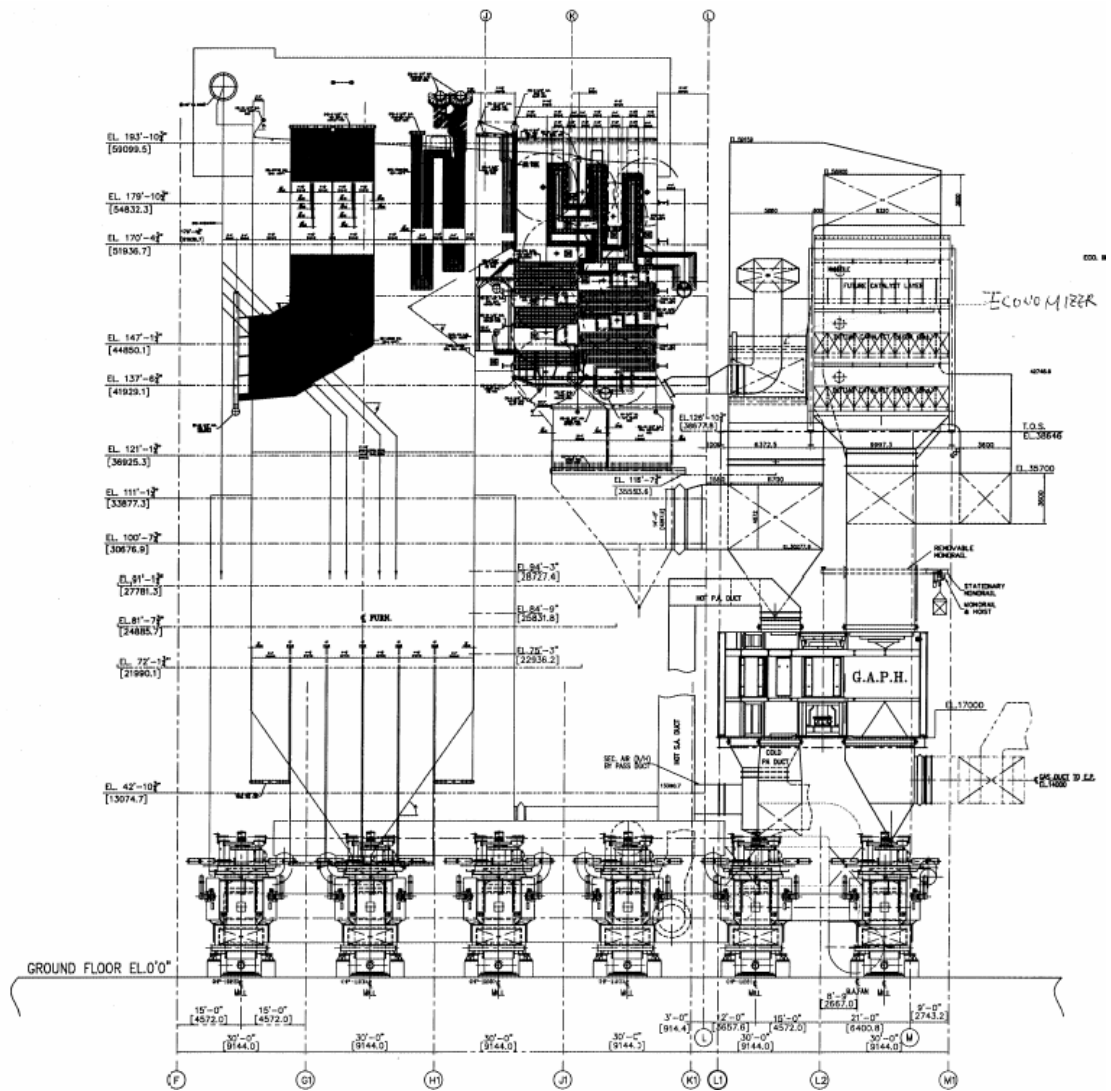


圖 1 Doosan 針對本鍋爐改善及增設 SCR 初步規劃圖

### 1. 鍋爐改善工程：

興達發電廠 1、2 號機鍋爐為單鼓、水牆管、平衡通風爐膛式鍋爐，爐內有過熱器、省煤器以及再熱器，原設計可燃煤、重油及天然氣，目前以煤為單一主燃料。本計畫針對鍋爐主體的改善工作包括：增設鍋爐再熱器管排（包括吹灰器）、煙氣再循環系統移除及盲封、煙器再循環系統出灰系統移除及盲封、更新一次及二次的蒸氣空氣加熱器，圖 2-a 及 2-b 分別為鍋爐改善前後之配置圖，



預期透過本次的改善作業可以達到的成果為：

- A.減少因煙氣偏流造成鍋爐再熱器管排嚴重吹蝕破管的情形發生。
- B.鍋爐再熱器出口的蒸汽溫度於75% 100%BMCR可回歸提升至原設計值542。
  - 。
- C.恢復鍋爐原設計效率。
- D.可使目前機組恢復至可穩定連續運轉滿載發電500MW之工況。
- E.提高空氣預熱器入口溫度，防止機組於中、低載運轉時，硫酸蒸汽結露導致酸性腐蝕發生於冷端受熱面。
- F.避免煙氣中飛灰因結露而結成硬塊，造成空氣預熱器堵灰現象，並可降低飛灰中未燃炭含量。

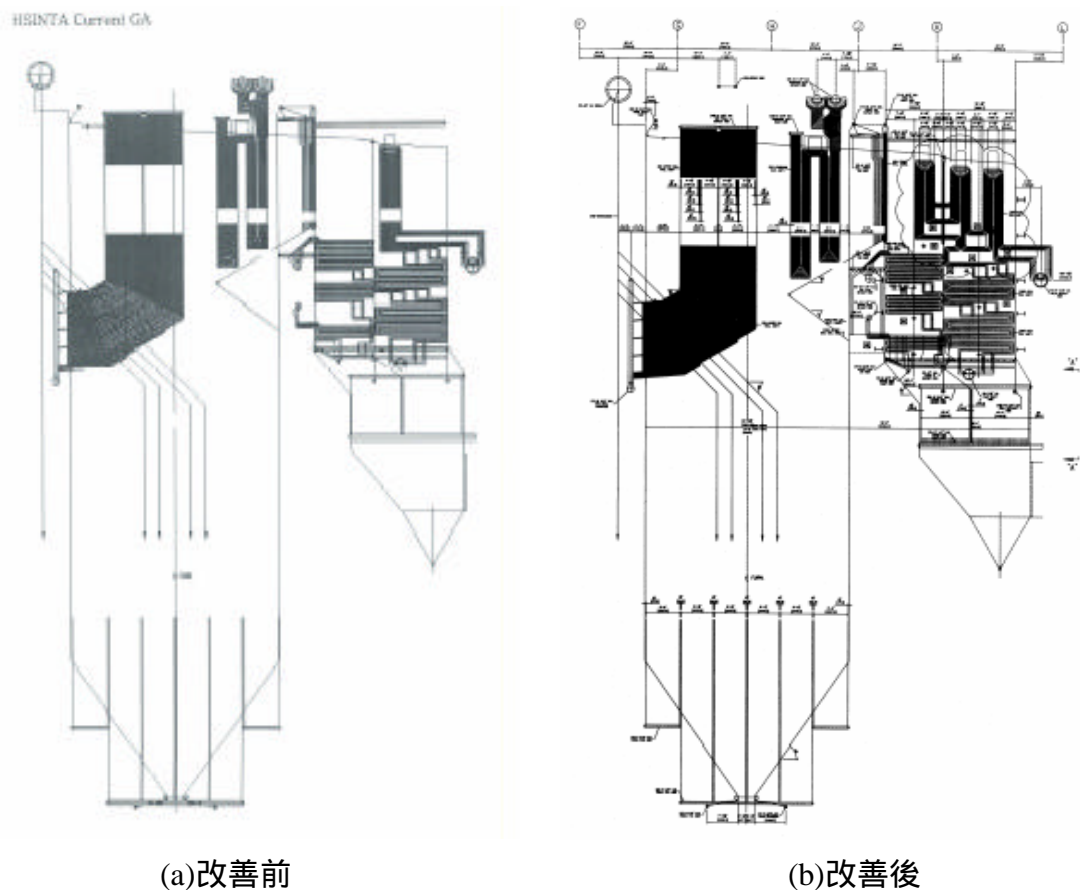


圖 2 鍋爐配置圖

2.粉煤機 ( Pulverizer ) 改善工程：

興達發電廠 1 號鍋爐及 2 號鍋爐各配置 6 部粉煤機，原設計粉煤機篩分設備採用定置式擋板葉片分離器來篩分磨煤轉子所輾歲的煤粉。由於原設計粉煤機煤粉細度通過率需求無法符合目前電廠粉煤細度檢驗的最低標準值（200mesh > 75%的通過率），是導致目前飛灰中未燃炭含量過高的主要原因，因此本計畫預計更新粉煤機組件，並將分離器更新為旋轉式的分離器，其預期的成效為：

- A.更新粉煤機輾磨區年久老化的組件。
- B.提升組件可靠度及輾磨品質。
- C.提高煤粉細度以減少鍋爐飛灰中未燃炭的含量。

下圖為Doosan最新型之粉煤機：

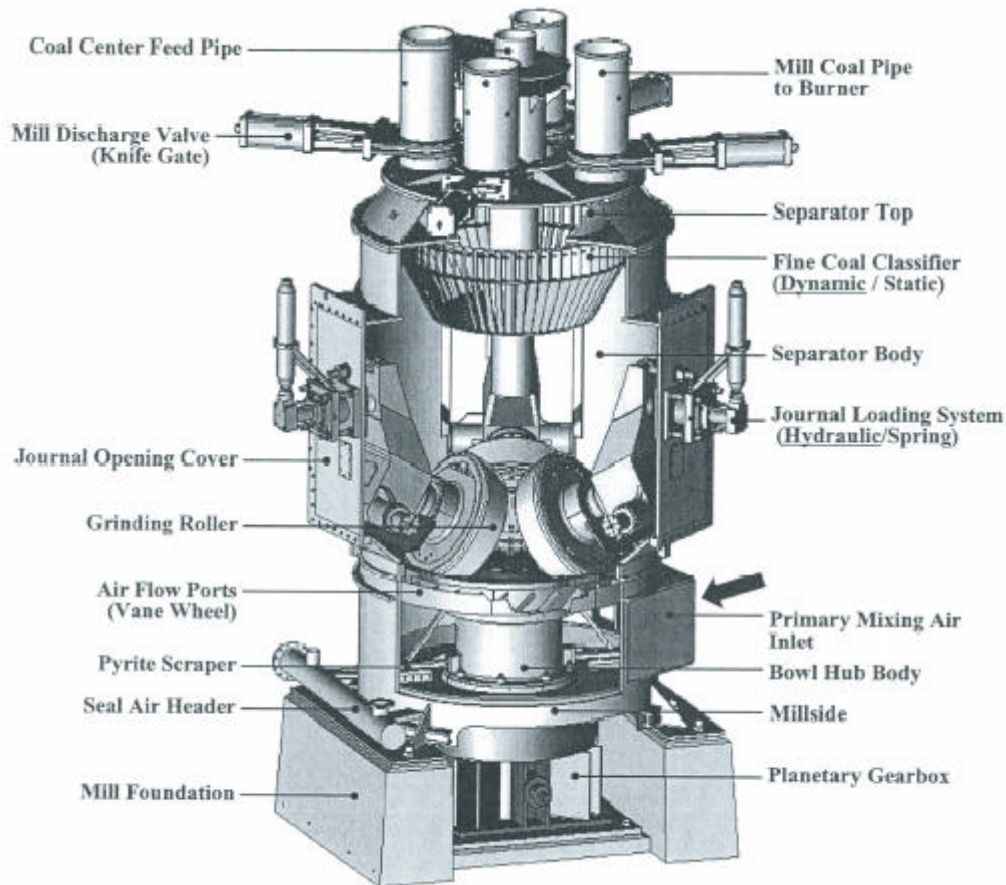


圖 3 Doosan最新型之粉煤機示意圖

3.空氣預熱器更新：

興達電廠 1、2 號機鍋爐原來設計各配置 4 台 Ljungstrom 再生式、兩分倉式空氣預熱器，其中一次空氣預熱器、二次空氣預熱器各為 2 台。原有的空氣預熱器經二十多年使用，其密封條磨損、扇形板及軸向密封板也已有相當程度的變形情形，再加上新增 SCR 後，既有的空氣預熱器之換熱板規格、形式、分層高度以及整個空氣預熱器之大小均須重新規劃設計換新，因此必須加以更新。本項更新作業的預期成果為：

- A.既有空氣預熱器組件老化需更新。
- B.配合新增SCR的裝置，空氣預熱器組件須重新設計以預防因SCR Ammonia Slip 導致空氣預熱器阻塞的情形發生。
- C.改善目前空氣預熱器漏風量偏大及出口煙氣溫度偏高現象。

下圖4及5為Doosan針對興達1、2號機所規劃之三分倉式空氣預熱器配置，圖6為Doosan重工空氣預熱器小尺寸模型照片：

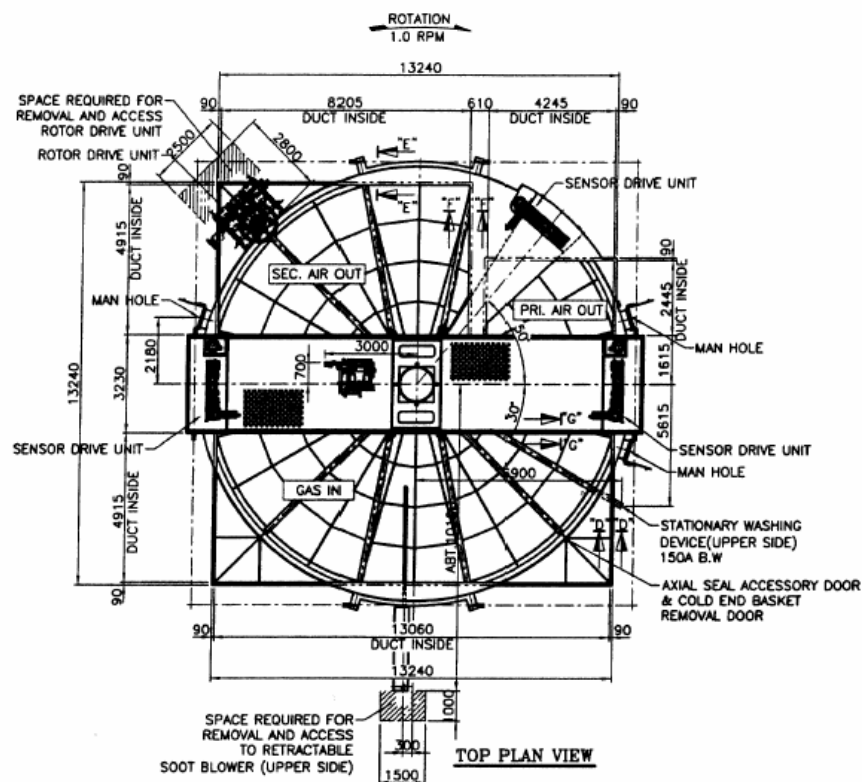


圖 4 Doosan規劃之三分倉式空氣預熱器配置（平面圖）

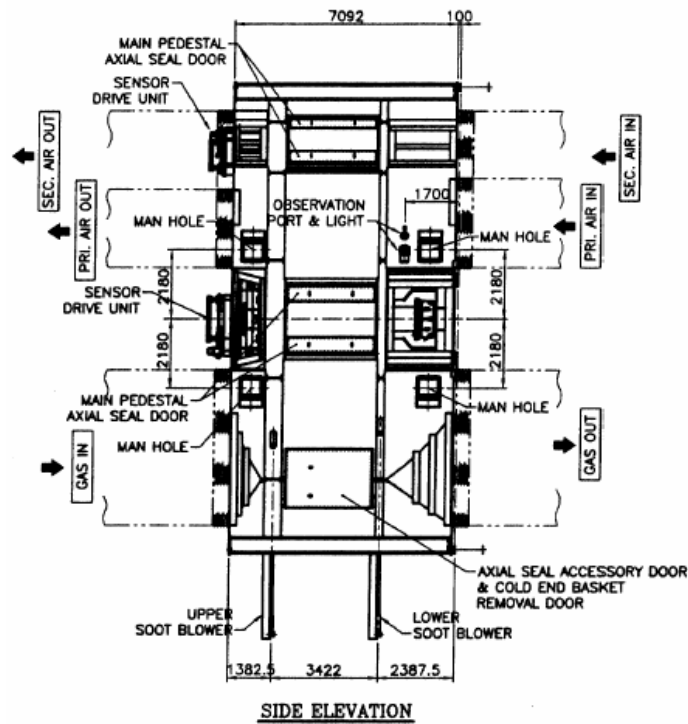


圖 5 Doosan規劃之三分倉式空氣預熱器配置 (側視圖)

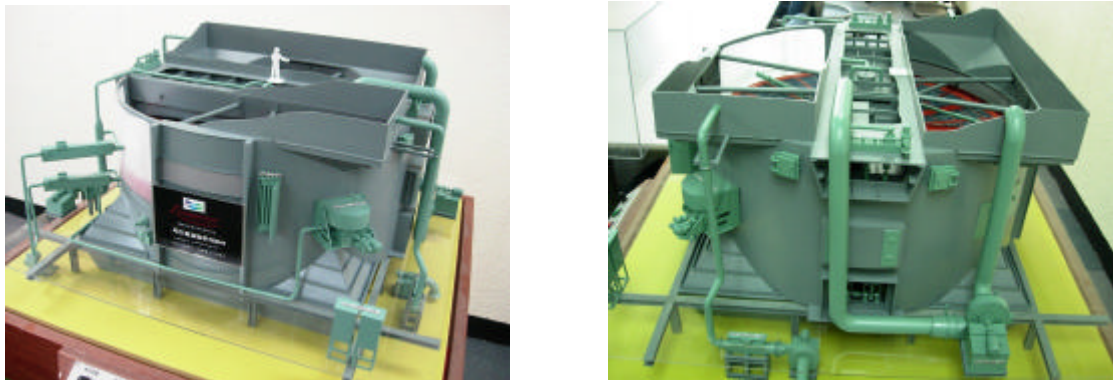


圖 6 空氣預熱器小尺寸模型照片

#### 4. 增設選擇性觸媒還原設備 (SCR) :

目前興達 1、2 號機之氮氧化物防治設備為選用 24 支 FWEC IFS 型低氮氧化物燃燒器及進步型火上空氣口，並未裝置 SCR。電廠目前氮氧化物排放濃度雖可符合現行之環保法規，但其排放濃度仍遠高於一般有安裝 SCR 之機組的排放

濃度。由於興達發電廠氮氧化物排放總量佔南部地區總排放量的 25%，必須依照環保署的指定削減量進行空氣污染物減量，於目標年以前達到減量目標，因此為符合未來總量管制的環保標準，安裝 SCR 以削減氮氧化物排放總量，就電廠的營運上有其必要性。其預期的成效為：

A. 預估氮氧化物削減量為 6,313,699 公斤 / 年，可削減南部地區氮氧化物排放總量 7.6%。

B. 符合國家政策法令要求，確保電廠能長遠營運。

### (三) 新建 SCR 及 APH 鋼構規劃

因興達 1、2 號機現場目前設備配置相當擁擠，原機組當初建廠時並未預留配置 SCR 之空間，故為能有足夠之空間裝設 SCR，既有的空氣預熱器必須先拆除再與 SCR 共構更新。更新之空氣預熱器因較既有二次空氣預熱器為大，且因規劃與設置其上的 SCR 共構，既有支撐鋼構與基礎承載能力並不足以負荷更新及增設設備的重量，故需重做基礎及相關鋼構。

1. 設計條件：以下概述新增 SCR 與空氣預熱器支撐構架之材料與載重等設計條件：

(1) 材料：

上部結構部份為鋼結構，結構用鋼料依合約規範須符合 ASTM A36 ASTM A572, JIS SN400, SM400 或同等級之型鋼或組合型鋼，提供耐震功能之主要構材或必須銲接的構材不得使用 JIS SS400 材質的鋼料。主要結構鋼構材無論為工廠接合或現場接合均必須使用高張力螺栓，除特別規定外其材質必須符合 ASTM A325 or A490, JIS S10T。

下部結構部份之基礎及基樁均為鋼筋混凝土 (RC) 構造物，所用混凝土強度要求：基礎部分為 280 kg/cm<sup>2</sup>；基樁為 310 kg/cm<sup>2</sup>，鋼筋需為符合 CNS 560 之 SD420W / SD280W 或 ASTM A706 之同等級鋼筋。

## (2)載重分析：

新建 SCR 與空氣預熱器支撐構架結構設計時所需考量的載重包括靜載重、活載重及其產生之衝擊效應、風力、地震力、設備運轉時產生的震動、溫度效應、土壓力以及施工期間可能的載重等。以下針對其中對本結構設計具有較重要影響性的靜載重、活載重及地震力做一概述。

### A.靜載重及活載重：

靜載重包括永久結構本身的自重、新增 SCR、空氣預熱器設備以及其附屬的煙道及管線（包括其內含物）的重量等。其餘不為靜載重的所需考慮的垂直載重均屬活載重，包括運轉維修期間的人員、設備、儲藏物等重量，依本計畫招標規範規定活載重計算為，平屋頂部分以  $100 \text{ kg/m}^2$  計算，操作樓層為  $1000 \text{ kg/m}^2$ ，走道及維修平臺等為  $500 \text{ kg/m}^2$ 。

預估新建鋼構所需承載的靜載重加活載重約為：

SCR設備重量： $400 \times 2 = 800$  噸

空氣預熱器重量： $630 \times 2 = 1260$  噸

煙道及其他附屬物重量：約 1000 噸

鋼構本身重量：約 700 噸

總載重值： $800 + 1260 + 1000 + 700 = 3760$  噸

### B.地震力：

新建之 SCR 與空氣預熱器支撐結構必須設計與建造使能抵抗地震力所產生的應力，地震力並須同時考量各方向水平地震力以及垂直方向地震力的效應。依照招標規範的要求，所有的地震力計算必須符合我國內政部營建署最新版的「建築物耐震設計規範與解說」(2006.01.版)的要求，且因電廠結構屬重要性結構，必須在地震發生後仍能維持機能，故除依規定用途係數(I)值規定為 1.5 外，亦

依照本公司結構耐震規定將地震參數定為：

震區短週期設計水平譜加速度係數  $S_s^D = 0.8$

震區一秒週期設計水平譜加速度係數  $S_1^D = 0.45$

震區短週期最大水平譜加速度係數  $S_s^M = 1.0$

震區一秒週期最大水平譜加速度係數  $S_1^M = 0.55$

## 2. 構架初步規劃

本計畫 SCR 與空氣預熱器的支撐構架初步規劃為採用鋼構梁柱結構系統來承載包括鋼構本身以及設備重量造成的垂直載重，並設置垂直、水平的斜支撐以構成穩定且具有抗風、抗震能力鋼結構系統，其構架示意圖見圖 7 及 8。

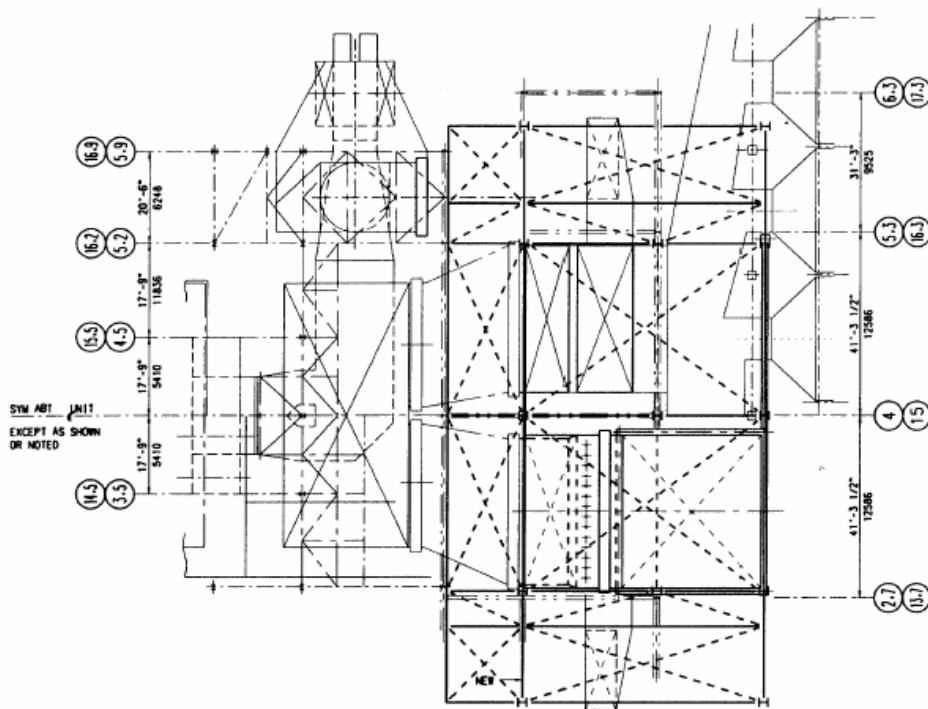


圖 7 SCR與空氣預熱器支撐鋼構平面示意圖

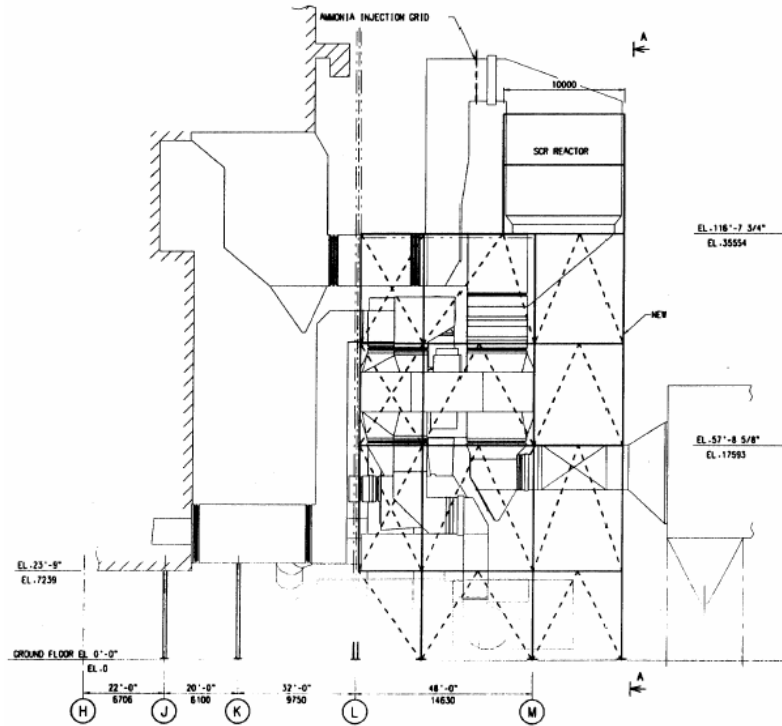


圖 8 SCR與空氣預熱器支撐鋼構示意圖（側視）

#### （四）既有鍋爐廠房補強評估

興達 1、2 號機空污改善工程計畫針對鍋爐的改善需增設鍋爐再熱器管排(包括吹灰器)及更新一次及二次的蒸氣空氣加熱器等設備，因此進行本工程計畫時除須對既有的鍋爐鋼構廠房結構進行修改以提供新設備設置的空間外，也必須考慮新增或更新設備的荷重對結構造成的影響，若既有的結構無法承載新增的載重時，必須對既有的結構進行補強。

##### 1. 載重、地震力探討

既有鍋爐廠房的結構補強評估時所需考量的載重包括靜載重、活載重及其產生之衝擊效應、風力、地震力、設備運轉時產生的震動、溫度效應以及施工期間可能的載重等。其中靜載重的部分需考量新增及修改之設備的重量，包括再熱器管排(包括吹灰器)、更新一次及二次的蒸氣空氣加熱器以及相關的煙道與管路。

對於地震力的考量，若依內政部營建署最新版的「建築物耐震設計規範與解



說」的要求，其所需抵抗地震力的預估為：

$$V = \max \left\{ \frac{I}{1.4a_y} \left( \frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W, \frac{IF_u}{4.2a_y} \left( \frac{S_{aD}}{F_u} \right)_m W, \frac{I}{1.4a_y} \left( \frac{S_{aM}}{F_{uM}} \right)_m W \right\} \quad (1)$$

其中用途係數  $I=1.5$ ，起始降伏地震力放大倍數  $a_y = 1.2$

結構系統視為部分韌性抗彎矩鋼構造（韌性容量  $R$  取 3.2），其建物高度  $h_n = 67$  公尺，結構基本振動週期  $T = 0.085h_n^{0.75} = 1.99$  秒，依規範計算所得：

$$S_{aD} = 0.308, S_{aM} = 0.36, R_a = 2.1, F_u = 2.1, F_{uM} = 3.2$$

代入式(1)可得設計地震力  $V = \max(0.13W, 0.10W, 0.92W) = 0.13W$

但由於興達 1、2 號機既有的鍋爐房於民國 71 年前即興建完成，設計時所引用之設計地震力計算方式與目前採用之計算公式有明顯的不同，且自從 921 大地震後本公司對於所有火力電廠的地震參數的選取均以強震區為考量（興達 1、2 號既有鍋爐房設計時係依當時的規範，震區係數依弱震區考量），因此在進行補強評估時須先了解既有鍋爐房結構設計考量時所能承受的之地震力以比較其與依新規範計算所得之地震力之差異，原結構依舊規範要求設計所能抵抗之地震力推估如下（依民國 63 年版建築技術規則地震力之要求）：

$$V = ZKCW \quad (2)$$

其中震區係數依舊規範興達廠址為弱震區故取  $Z=0.75$ ，

考慮其結構為具斜撐之韌性立體鋼構架，組構係數  $K$  取 0.8， $C$  為 0.1

代入式(2)中可得地震力  $V = 0.75 \times 0.8 \times 0.1W = 0.06W$

比較由式(1)及式(2)所得之地震力，可知依新版耐震設計規範所得之地震力相較於既有結構當初設計時之地震力增加超過 1 倍，因此如欲依新版耐震設計規範進行既有結構評估，顯然將面臨既有鍋爐房結構無法承受如此大之地震力而須進行全面的補強，由於興達 1、2 號機空污改善工程所能進行施工之工期僅僅 8 個月的時間且計畫預算有限，無法提供結構全面耐震補強所需，為使計畫能順利

進行且考量本計畫係屬既有設備改善而非新建工程且完工後繼續使用年限不足 20 年，故針對設計地震力乃改以在 20 年使用年限中超越機率 10% 計算得之地震地表加速度來取代式(1)中回歸期 475 年之地震地表加速度，相關概算如下：

使用年限考慮 20 年之超越機率 10% 地震之回歸期為：

$$T_r = 1 / \left( 1 - 0.9^{1/20} \right) = 190.32 \text{年}$$

$$\text{折減係數 } \frac{a_{g,r}}{a_g} = \left( \frac{T_r}{475} \right)^{0.3} = 0.76$$

故折減後之地震力為  $0.76 \times 0.13W = 0.099W$ ，其值雖已較視為新建結構物之設計地震力為小，但仍比既有結構設計之地震力為大。

## 2. 補強方式之探討

由前面初步分析可知道，由於新舊設計規範對於設計地震力要求的差異，本計畫鍋爐房結構的補強評估時必須考量需承受較既有結構所能提供的強度更大的地震力，此外新增及修改設備造成的垂直載重變化以及為配合設備的佈置必須對部分的鋼構進行修改等因素都是在做補強評估時不可遺漏的設計條件。

實際評估分析時，需先蒐集現有鍋爐房的結構實際配置、構材尺寸、材料性質等條件，再配合新增或修改設備的載重以及佈置等資料，來進行分析，分析時可用電腦輔助結構分析設計軟體如常用之 SAP 系列 STAAD Pro 或 GT-STRUDL 等來模擬分析以求得結構受各載重時之反應，並進一步探討既有結構是否能達到預期之承載目標，若無法達到，則需依補強的目標進行結構補強，補強可採用改善結構系統、增加結構體韌性與強度等方式來進行，針對興達 1、2 號機既有鍋爐房的補強經與 Doosan 結構設計人員討論，初步決定以兩個方向來作為補強的方案，一為考慮針對個別桿件補強搭配結構系統改善以加強整體結構的強度，另一方案為利用減震或隔震的技術來減低地震輸入結構的能量以減少結構的反應，以下分別針對兩個方案做進一步的探討：

### (1)加強結構的強度

在補強規劃設計時首先須對既有的鍋爐房結構進行分析，以了解其面臨強烈地震破壞時可能產生的破壞模式，預期鍋爐房結構受地震損害模式可能為梁彎矩破壞型以及柱破壞型兩種。在做後續補強設計時，針對不同的破壞模式需採取不同的補強策略：若既有結構系統為梁彎矩破壞型則需整體同時提高梁構材及柱構材的強度，或藉由側力抵抗元件如鋼斜撐的設置來改善結構系統；若為柱破壞型之系統，則需改善整體結構系統中柱構材之強度及韌性。

在確定補強策略後，針對強度不足而需補強的構材進行補強設計時，除了依結構分析得到之構材所需抵抗載重產生之應力依照鋼結構設計的相關規範來設計外，為了確保在補強後能有較佳的韌性及提高其耐震能力，在設計過程中尚必需隨時掌握下列要點：(1) 構件的破壞盡量控制為撓曲破壞而非剪力破壞。(2) 在節點處應為強柱弱梁，而非強梁弱柱，也就是柱的強度一定要控制比梁的強度為高。針對單一鋼構件的補強方式可藉由加大構材的斷面來提高其強度，如圖 9、10 及 11 分別為鋼構中梁、柱及斜撐構材之補強示意圖，其中補強的方法包括透過在既有 H 型鋼斷面的腹板及翼板加銲鋼板（如圖 9 之 Type A、圖 10）或在既有斷面的翼板上加銲 T 形鋼（如圖 9 之 Type B 及圖 11 之 Type C）以增加斷面的強度。

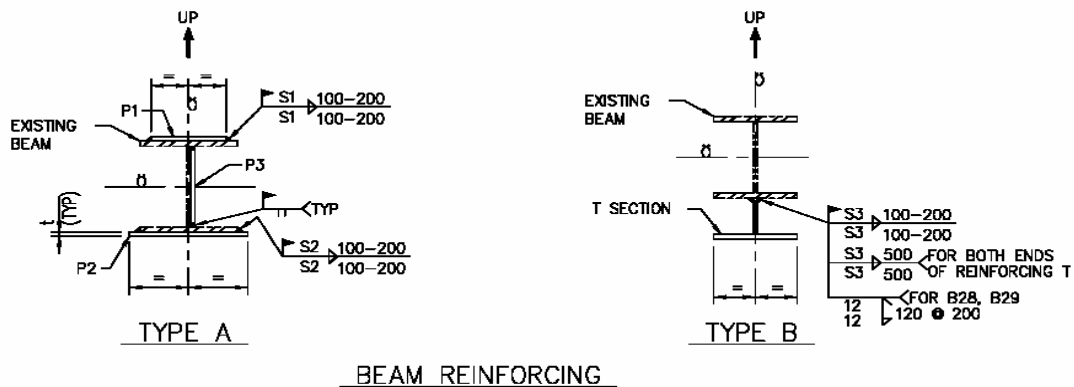


圖 9 梁構材補強

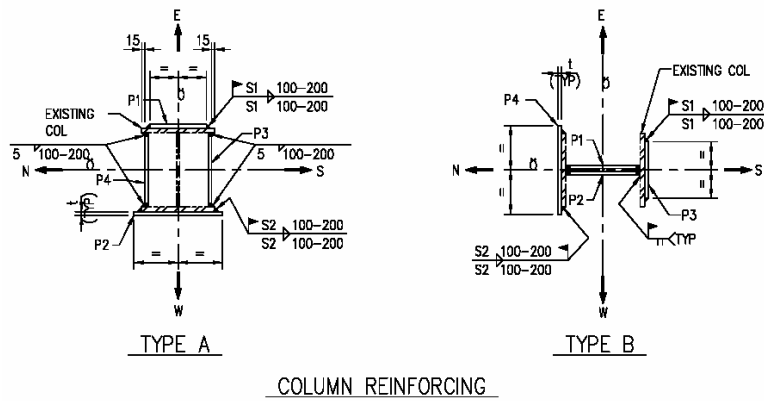


圖 10 柱構材補強

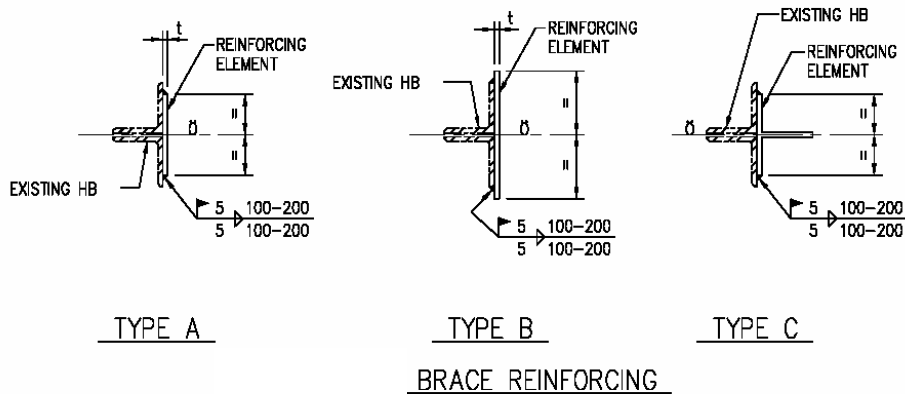


圖 11 斜撐構材補強

## (2)以減震、隔震技術補強

由於本計畫補強的對象為鋼構廠房，傳統鋼結構設計，均以工作應力法(WSD)設計，對於韌性的考量較為缺乏；近年來，鋼結構設計已採用韌性設計來防震，接頭部份尤其受到重視，前項以增加桿件的強度來作為結構補強的方式，雖然針對單一梁、柱構材本身能補強到有足夠的強度以抵抗外來的荷重應力，但由於舊結構補強對於接頭的部分仍有其設計及施工上之困難，無法達到新規範所要求的韌性效果，將使整體結構的耐震性能有所折扣。

近 20 年來新建結構設計上為防範地震或風力等對結構造成損害，有了新的設計理念：如何消耗輸入的能量或減少結構反應速度，使得可以用很經濟的結構

就可承受大地震或強風，而不至破壞崩塌。此設計理念亦可應用在既有結構的補強上，欲達成此目標的對策為：一是採用減震技術，以加強結構物本身的能量消釋能力，使結構物在較小的反應範圍便開始消散地震能量以降低反應而不致發生破壞；另一方法為採用隔震技術，以減少地震對結構物輸入的能量。

#### A.減震技術概述：

減震設計的原理在於藉由減震裝置的裝設，使結構物的勁度上升或阻尼加大，所產生的效應雖然可能使結構物基本振動週期下降而導致反應譜加速度些微上升，但是結構物的位移反應則會明顯降低許多，如圖 12 所示。此外藉由適當的結構設計手段，在側向作用力較大時，可將產生的超額能量引導到這些特別設計的消能裝置而減少輸入主要構件（如梁、柱等主要承重系統）的地震能量以減少結構的變形或破壞的發生。

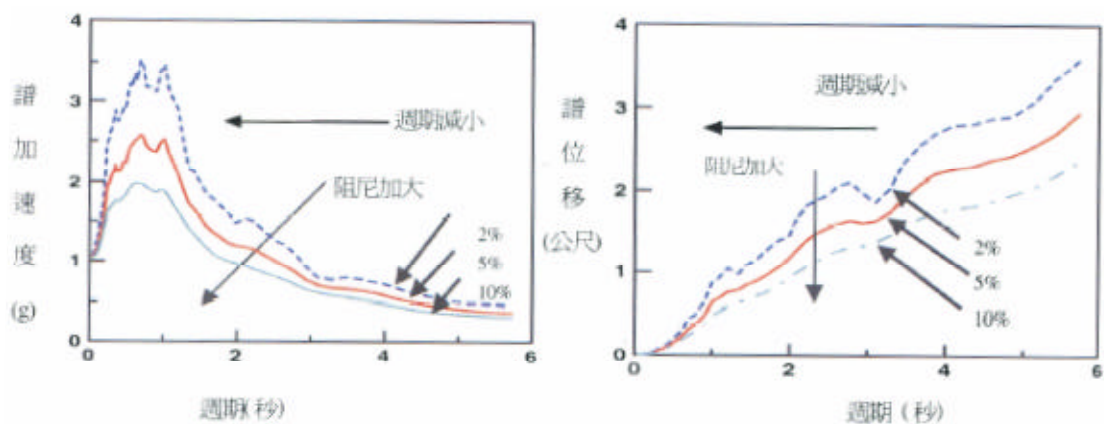


圖 12 譜加速及譜位移示意圖

目前工程界常用的減震裝置有下列幾類：

- a.消能阻尼器：主要功能為提供阻尼消能容量，增加結構物的阻尼比，裝設在結構物中有相對變形的位置上。常見的包括活塞式油壓阻尼器、粘彈性阻尼器與摩擦阻尼器（分別如圖13- a, b, c）。

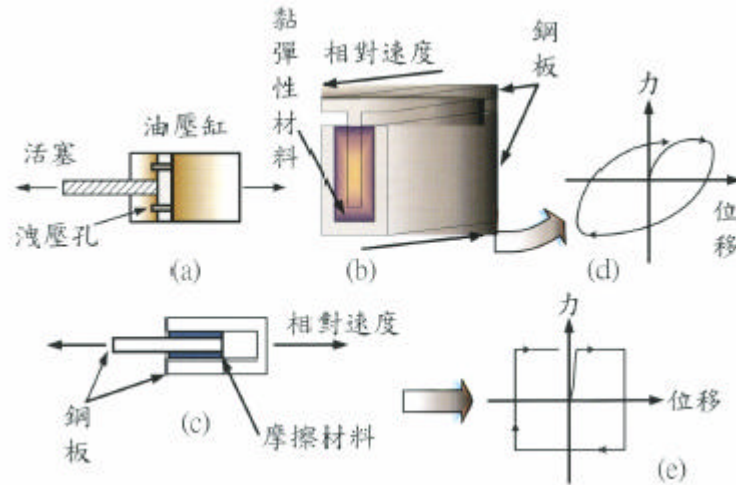


圖 13 消能阻尼器示意圖

b.消能支撐系統：此類構建包括偏心斜撐（Eccentrically Braced Frames 簡稱為 EBF，如圖14- a, b, c）消能角撐（圖14- d, e）黏性阻尼支撐（圖14- f）消能框支撐（圖14- g, h）與摩擦消能支撐（圖14- i）等。其原理主要透過斜撐與構架的幾何配置方式與構件本身消能機制的配合，增加構架的勁度及遲滯阻尼。在台北的大陸工程公司總部大樓及使用了EBF來達到減震消能的目的。

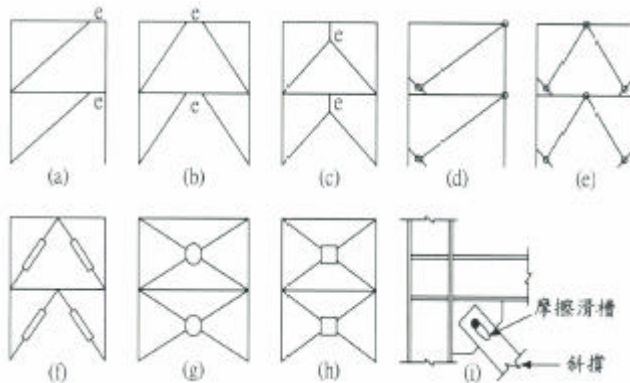


圖 14 各類型消能支撐系統示意圖

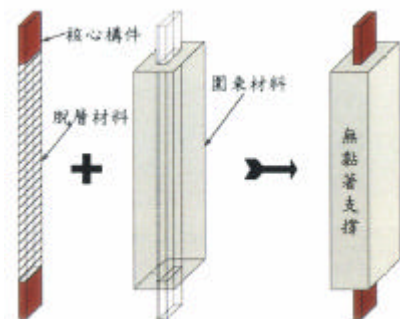


圖 15 無黏著支撐示意圖

c.容損消能裝置：在大地震作用下，應用較高強度的材料作為主要結構材料以使承重的主體結構儘可能保持彈性，另外採用強度較低但具有優良塑性變形能力的材料製作消能構件，以吸收大量的輸入能量。這些消能的構件在劇烈地震時先產生較大變形並消能以保護主構件在彈性範圍內變形，此外這些構件多具有震後可更換的特性。常見的有應用在日本中國電力公司三隅發電廠的鍋爐及汽機房鋼構所使用的無黏著支撐（Unbonded Brace，圖15）及在台北京華城購物

中心使用的三角形鋼板消能器（TADAS裝置，圖16）。

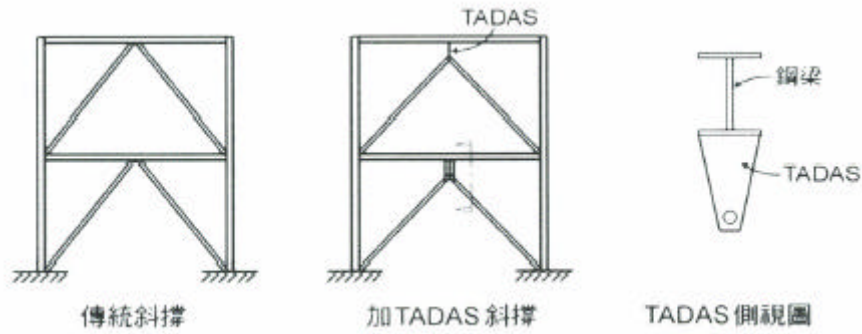


圖 16 TADAS 消能器示意圖

B.隔震技術概述：

「結構隔震」概念為在上部結構基面與其下方基礎間，加入一隔震層，利用它來阻隔地震或吸收部份能量，以減少地震能量進入上部結構系統中，它能降低結構系統因承受過大外力或產生過大層間變位而造成破壞的風險。因此，隔震裝置的使用不僅可使結構物本身的震害減輕，也可使其內部設施不受地震侵害。隔震裝置一般而言需具有下列特性：

a.水平方向具較大的柔性（即勁度較低）：透過隔震裝置提供在水平向較大的柔性，可使整體結構的勁度降低，延長它的基本震動週期，來減少上部結構的加速度反應或地震側力（如圖17）。

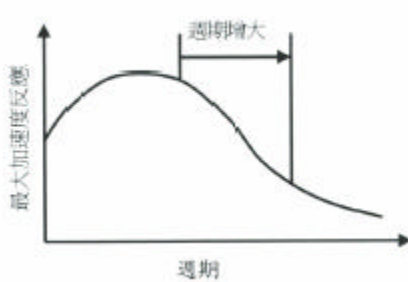


圖 17 加速度反應譜曲線

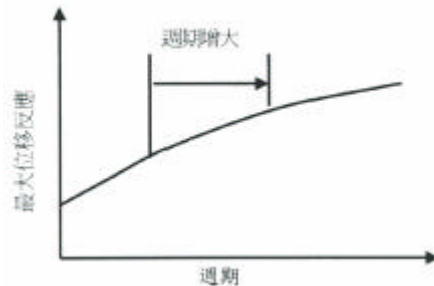


圖 18 位移反應譜曲線

b.垂直方向有足夠承載力：隔震裝置在垂直方向要有足夠的承載力來承受上部結構的重量，以避免結構發生傾搖不穩定的現象。

c.具消能性：裝設隔震裝置後的結構震動週期將提高因而使得結構物的反應位移

增大(圖18),故需具有能量消散裝置來提高隔震系統的阻尼,以有效控制隔震層的相對位移(圖19)。

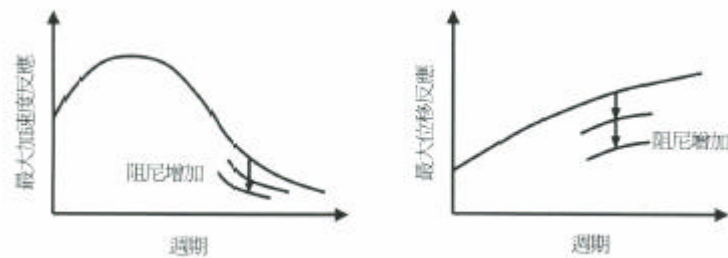


圖 19 阻尼與反應譜的關係圖

- d.抗常態載重：在承受大地震作用時，隔震裝置的側向勁度越低越好，但是在小地震、風力等常態載種下，隔震裝置仍須有足夠的勁度，以免產生過大的變形而影響結構物日常的功能。
- e.安全裝置：雖然隔震裝置可減少地震對上部結構的影響，但仍有所能承受之極限地震力，超出此限度時，隔震系統將會因過大的變形而可能滑落導致造成上部結構的毀損，因此隔震系統需另設有安全裝置以防變位超出設計值，或提供額外的支承來取代隔震系統失效時的需求。
- f.具回復力：隔震系統要有足夠的回復力，以使結構物在地震後能回復到原來的

位置。

一般的隔震系統可分為類彈簧式(或稱橡膠式)與滑動式兩種。類彈簧式隔震系統包括積層橡膠支承(RB,圖20),鉛心橡膠支承(LRB,圖21)與高阻尼橡膠支承(HDRB)等,其為主要藉由延長結構週期來避開地震的顯著頻率而達到減震的目的,其中LRB目前在國內已有使用在新建橋樑以及既有橋樑補強的應用上,日本並已有應用在醫院及集合住宅的實例。滑動式隔震系統則是藉由滑動摩擦介面來隔絕地震力的傳遞,由於傳遞至上部結構的地震力不會超過介面間最大的摩擦力,因此可大幅降低結構的地震反應。摩擦單擺系統(FPS)、滑動回彈摩擦隔震系統(SR-F)與回彈摩擦式隔震系統(RFBI)即屬此類。





圖 20 積層橡膠支承示意圖



圖 21 鉛心橡膠支承示意圖

### 三、出國期間所遭遇的困難及建議事項

自 1997 年亞洲金融風暴造成經濟崩潰而陷入谷底後，韓國近 10 年來積極在各方面奮力發展，不僅在亞洲掀起一股大眾文化上所謂的「韓流」炫風，在工業科技方面也積極開拓國際市場而有不錯的成果。本次前往實習的機構 - 斗山重工近年來即積極朝國際化專業廠商的方向邁進，並以成為全球領導地位(Global Leader)為目標，此次實習期間在斗山重工的辦公室內或工廠中不時可看到類似的標語，不僅隨時提醒員工公司的目標以增加向心力，對於外來的訪客而言也可了解到斗山公司的企圖及願景。

本次實習期間，實習機構所安排負責各門研討課程之師資均由該公司各該領域之工程師擔任，各講師除事先準備了充分的訓練資料外，針對課程進行中所提的問題亦均有回應，此外由於講師多為實際參與興達 1、2 號機空污改善計畫之人員，對於課程內容也較能就本計畫執行之實務方面進行安排，雖然在過程因雙方之英文溝通能力尚欠流暢，無法馬上了解對方所欲表達之內容，但藉由所提供資料的幫助再加上講師耐心的回應，此次實習仍受益良多，有相當豐富的收穫，因此建議未來應多派員赴國外研習，以便吸收更多先進的知識與技術，以別人的經驗與成果為借鏡，應用於工程實務上。並希望可藉由邀請國外專家來台作專題研討與交流，經由雙方意見之交換及討論，對於本公司工程技術的提升將有所助

益。

為能更進一步了解韓國發電廠之施工作業流程及方式，因此在事前與實習機構聯繫研習內容及相關行程時，亦請斗山重工安排參觀該公司目前正在參與施工中之發電計畫，然而到當地時才知韓國當地電廠相關安全管理規定較為嚴格，參觀申請耗時，因而不及辦理以致無法成行，雖然斗山重工另外安排觀看由該公司參與韓國 Korea East-West Power 公司 Dangjin 火力電廠 5、6 號機的施工紀錄影片，但未能實際到現場參觀仍免不了有些許遺憾。此外，由於斗山公司極為重視其工廠生產流程之商業機密，在設備生產工廠內並不允許訪客拍照攝影，因此本次實習期間雖然得以參觀其鍋爐、汽輪機、空氣預熱器等各設備製造及鑄造工廠但因礙於該公司的政策，而無法為這次實習過程留存影像資料，實為此次行程另一憾事。

興達 1、2 號機空污改善工程計畫中之既有鍋爐房因需安裝新增及修改之鍋爐相關設備，而必須修改補強既有結構，為了克服依照舊設計規範設計之既有結構需能符合新耐震規範要求的課題，鍋爐房在進行補強設計時，若僅採用增加既有梁、柱或斜撐構材斷面以增加構材強度的方式，除恐需大規模補強造成工期延長、既有構材不易達成補強目標要求之斷面強度外，且在梁、柱接頭的強度及韌性需求亦難以符合，因此必須適度的透過增加斜撐或其他的方式來改善其結構系統以分散既有構材之應力以避免既有構材因增加的地震力太大而無法進行補強。此外，透過減震技術的幫助，如於適當的位置利用新增或修改既有斜撐的方式安裝黏彈消能阻尼器或無黏著支撐，經由減震消能裝置的作用來消散地震輸入的能量而減少輸入既有構材的地震能量，使得個別既有構材的補強數目減少，除可縮短補強工期外亦可減少工程經費而能達到安全性的要求。由於隔震裝置的使用必須安裝在上部結構基底與下方基礎間，由於考量既有鍋爐房基礎形式為一巨積混凝土基礎板，底下由基樁支撐，而上部結構係由各鋼柱直接立於基礎板上，為確保整體結構的穩定，隔震裝置的使用必須考慮於所有的柱底安裝，其設計及施工均有其困難度，因此並不適合運用於本計畫鍋爐房補強上。

隔、減震技術在國、內外均以研究發展多年，並已有實際的應用案例，國內內政部營建署於 95 年 1 月所頒布實施的「建築物耐震設計規範及解說」亦已將隔、減震技術之分析、設計及檢核等列入規範中，由於自從 921 地震後政府重新檢討耐震設計標準，且本公司亦考量各發電廠為影響國家經濟發展之重要設施，乃規定不論電廠所在地之地震分區為何，均須以最嚴格之地震係數作為電廠設計依據，故未來新建電廠所考量之設計地震力均會較以往為大，若繼續採用傳統純以結構構材本身的韌性來作為結構設計上消散地震輸入能量的方式，將面臨比以往更高的工程施工及設計上的難度及更多的工程經費預算需求，因此建議本公司新建電廠計畫中之電廠結構規劃設計時(尤其本公司現正進行中之深澳電廠更新計畫，由於廠區內有斷層帶通過且地底亦有早期煤礦開採所遺留之廢坑道)為確保電廠結構的安全性及工程的經濟性可考慮引進使用隔、減震技術，除可有效降低地震之威脅外，亦可確保日後電廠營運及整體供電的穩定性。